

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 3 月 1 2 日
Date of Application:

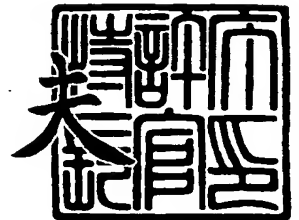
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 6 6 5 5 5
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 6 6 5 5 5]

出 願 人 ジーイー・メディカル・システムズ・グローバル・テクノロジー・カンパニー・エルエルシー
Applicant(s):

2 0 0 3 年 1 2 月 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 16NM02175

【提出日】 平成15年 3月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 A61B 5/055
G01R 33/32
G01R 33/341

【請求項の数】 18

【発明者】

【住所又は居所】 東京都日野市旭が丘四丁目 7 番地の 1 2 7 ジーイー横
河メディカルシステム株式会社内

【氏名】 池崎 吉和

【特許出願人】

【識別番号】 300019238

【氏名又は名称】 ジーイー・メディカル・システムズ・グローバル・テク
ノロジー・カンパニー・エルエルシー

【代理人】

【識別番号】 100094053

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐藤 隆久

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014890

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0015132

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 核磁気共鳴イメージング装置、および核磁気共鳴イメージング方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記複数のコイルによる受信信号より得られる画像から、折り返し偽像を除去する核磁気共鳴イメージング装置であつて、

前記複数のコイルの内の一コイルが、位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で受信した補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う位相補正処理手段と、

前記位相補正処理手段が前記位相補正処理を行った前記複数のコイルの受信信号、および、前記複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記画像中の折り返し偽像を除去する除去手段とを有する

核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 2】

位相エンコード方向にフーリエ変換処理を行うフーリエ変換処理手段を有し、

前記位相補正処理手段は、前記フーリエ変換処理手段が、前記複数のコイルの内の一コイルが位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で受信した補正信号をフーリエ変換処理した結果に基づいて位相補正係数を生成し、当該位相補正係数に基づいて、前記フーリエ変換処理手段がフーリエ変換処理した、前記複数のコイルでスキャン間隔を間引いて位相エンコードして受信した受信信号の位相補正処理を行う

請求項 1 に記載の核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 3】

前記位相補正手段は、前記複数のコイルの信号強度に基づいて前記複数のコイルの内の一コイルを選択し、前記選択したコイルが受信した前記補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う

請求項 1 に記載の核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 4】

前記位相補正手段は、前記複数のコイルの感度分布に基づいて前記複数のコイルの内の一コイルを選択し、前記選択したコイルが受信した補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う

請求項 1 に記載の核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 5】

前記位相補正手段は、前記複数のコイルそれぞれの信号強度の画像内の 2 次元積分値に基づいて、前記複数のコイルの内の一コイルを選択し、前記選択したコイルが受信した前記補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う

請求項 1 に記載の核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 6】

読み出し方向、周波数エンコード方向、および位相エンコード方向に勾配磁場を生成する勾配磁場生成手段を有し、

前記位相補正手段は、前記勾配磁場生成手段が少なくとも前記位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で、前記複数のコイルの内、一コイルが受信した前記補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う

請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 7】

核磁化を励起する 9 0 度パルスおよび 1 8 0 度パルスを印加するパルス生成手段を有し、

前記勾配磁場生成手段は、前記読み出し方向に勾配磁場を複数回連続して極性反転させて印加し、

前記補正手段は、前記パルス生成手段が 9 0 度パルスおよび 1 8 0 度パルスを印加し、前記勾配磁場生成手段が前記読み出し方向に勾配磁場を複数回連続して極性反転させた状態で、前記複数のコイルが受信した受信信号に基づいて生成された画像中の折り返し偽像を除去する

請求項 6 に記載の核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 8】

前記勾配磁場生成手段は、前記パルス生成手段が印加する前記 180 度パルスの前後に、拡散強調用勾配磁場を印加し、前記読み出し方向に前記勾配磁場を連続して極性反転して印加し、

前記補正手段は、前記勾配磁場生成手段が前記拡散強調用勾配磁場を印加し、前記読み出し方向に前記勾配磁場を連続して極性反転して印加した状態で、前記複数のコイルが受信した受信信号に基づいて生成した画像中の折り返し偽像を除去する

請求項 6 または 7 に記載の核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 9】

複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記複数のコイルによる受信信号より得られる画像から、折り返し偽像を除去する核磁気共鳴イメージング装置であって、

読み出し方向、周波数エンコード方向、および位相エンコード方向に勾配磁場を生成する勾配磁場生成手段と、

核磁化を励起する 90 度パルスおよび 180 度パルスを印加するパルス生成手段と、

前記勾配磁場生成手段が前記位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で前記読み出し方向に勾配磁場を印加し、前記コイルで受信したナビゲータ信号の内、一コイルで受信した当該ナビゲータ信号に基づいて、前記勾配磁場生成手段が同一励起期間内で前記位相エンコード方向に勾配磁場を印加し、前記読み出し方向に連続して極性反転させて前記勾配磁場を印加した状態で、前記複数のコイルで受信した受信信号の位相補正処理を行う位相補正手段と、

前記位相補正処理手段が前記位相補正処理を行った前記複数のコイルの受信信号、および、前記複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記画像中の折り返し偽像を除去する除去手段とを有する

核磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 10】

複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記複数のコイルによる受信信号より得られる画像から、折り返し偽像を除去する核磁気共鳴イメージング方法であつ

て、

前記複数のコイルの内の一コイルが、位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で受信した補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う第 1 の工程と、

前記第 1 の工程が前記位相補正処理を行った前記複数のコイルの受信信号、および、前記複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記画像中の折り返し偽像を除去する第 2 の工程とを有する

核磁気共鳴イメージング方法。

【請求項 1 1】

前記 1 の工程は、前記複数のコイルの内の一コイルが位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で受信した補正信号をフーリエ変換処理した結果に基づいて位相補正係数を生成し、当該位相補正係数に基づいて、前記複数のコイルでスキャン間隔を間引いて位相エンコードして受信した受信信号のフーリエ変換処理の結果の位相補正処理を行う

請求項 1 0 に記載の核磁気共鳴イメージング方法。

【請求項 1 2】

前記第 1 の工程は、前記複数のコイルの信号強度に基づいて前記複数のコイルの内の一コイルを選択し、前記選択したコイルが受信した前記補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う

請求項 1 0 に記載の核磁気共鳴イメージング方法。

【請求項 1 3】

前記第 1 の工程は、前記複数のコイルの感度分布に基づいて前記複数のコイルの内の一コイルを選択し、前記選択したコイルが受信した補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う

請求項 1 0 に記載の核磁気共鳴イメージング方法。

【請求項 1 4】

前記第 1 の工程は、前記複数のコイルそれぞれの信号強度の画像内の 2 次元積分値に基づいて、前記複数のコイルの内の一コイルを選択し、前記選択したコイルが受信した前記補正信号に基づいて、前記複数のコイルが受信した信号の位相

補正処理を行う

請求項 1 0 に記載の核磁気共鳴イメージング方法。

【請求項 1 5】

前記第 1 の工程は、位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で前記複数のコイルの内、一コイルが受信した前記補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う

請求項 1 0 ～ 1 4 のいずれかに記載の核磁気共鳴イメージング方法。

【請求項 1 6】

前記第 2 の工程は、90度パルスおよび180度パルスにより核磁化を励起し、読み出し方向に勾配磁場を複数回連続して極性反転した状態で前記コイルで受信した前記受信信号に基づいて生成された画像中の折り返し偽像を除去する

請求項 1 0 ～ 1 5 のいずれかに記載の核磁気共鳴イメージング方法。

【請求項 1 7】

前記第 2 の工程は、前記 1 8 0 度パルスの前後に拡散強調用勾配磁場を印加し、読み出し勾配磁場を連続して極性反転して印加した状態で、前記複数のコイルが受信した受信信号に基づいて生成した画像中の折り返し偽像を除去する

請求項 1 6 に記載の核磁気共鳴イメージング方法。

【請求項 1 8】

複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記複数のコイルによる受信信号より得られる画像から、折り返し偽像を除去する核磁気共鳴イメージング方法であって、

位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で前記読み出し方向に勾配磁場を印加し、前記コイルで受信したナビゲータ信号の内、一コイルで受信した当該ナビゲータ信号に基づいて、同一励起期間内で前記位相エンコード方向に勾配磁場を印加し、前記読み出し方向に連続して極性反転させて前記勾配磁場を印加した状態で、前記複数のコイルで受信した受信信号の位相補正処理を行う第 1 の工程と、

前記第 1 の工程が前記位相補正処理を行った前記複数のコイルの受信信号、および、前記複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記画像中の折り返し偽像を

除去する第 2 の工程とを有する

核磁気共鳴イメージング方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば被検体中の水素原子等からの核磁気共鳴信号に基いて画像を生成する核磁気共鳴イメージング装置、および核磁気共鳴イメージング方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、例えば、核磁気共鳴信号に基いて核密度分布や緩和時間分布等を示す画像を生成する核磁気共鳴イメージング装置、MRI (Magnetic Resonance Imaging) が知られている。

近年では、複数の受信コイルを用いて位相エンコード方向に撮像視野 (FOV : Field of view) を狭めて高速にスキャンを行い、エイリアシングにより生成された折り返り偽像 (アーチファクト) を含む画像から、複数のコイルの感度分布差に基いて折り返り偽像を取り除き撮像視野の広い画像 (Full FOVとも言う) を得る方法、パラレルイメージング法が知られている (例えば、非特許文献 1) 。

また、その方法を用いて折り返り偽像を除去してFull FOV画像を生成する核磁気共鳴イメージング装置が知られている (例えば、特許文献 1 参照) 。

【0 0 0 3】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 2 - 2 4 8 0 8 9 号公報

【非特許文献 1】

Pruessmann, K. P, Weiger, M. Sheidegger, M. B. Boesiger, P., Magn. Reson. Med, 42, 952, 1999

【0 0 0 4】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上述した各磁気共鳴画像装置において、例えばEPI等のパルスシーケンスにより核磁気共鳴信号を受信し、上述したパラレルイメージング方法により画像を生成した場合には、例えば不均一磁場等の原因により画質が低下するという問題点があり、改善が望まれている。

【0005】

本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、画像の画質が低下することなく折り返し偽像を除去することができる核磁気共鳴イメージング装置、および核磁気共鳴方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

前記目的を達成するために、本発明の第1の観点は、複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記複数のコイルによる受信信号より得られる画像から、折り返し偽像を除去する核磁気共鳴イメージング装置であって、前記複数のコイルの内の一コイルが、位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で受信した補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う位相補正処理手段と、前記位相補正処理手段が前記位相補正処理を行った前記複数のコイルの受信信号、および、前記複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記画像中の折り返し偽像を除去する除去手段とを有する。

【0007】

本発明の第1の観点によれば、位相補正処理手段では、複数のコイルの内の一コイルが、位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で受信した補正信号に基づいて、複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う。

除去手段では、位相補正処理手段が位相補正処理を行った複数のコイルの受信信号、および、複数のコイルの感度分布差に基づいて、画像中の折り返し偽像を除去する。

【0008】

さらに、前記目的を達成するために、本発明の第2の観点は、複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記複数のコイルによる受信信号より得られる画像から、折り返し偽像を除去する核磁気共鳴イメージング装置であって、読み出し方向

、周波数エンコード方向、および位相エンコード方向に勾配磁場を生成する勾配磁場生成手段と、核磁化を励起する 9 0 度パルスおよび 1 8 0 度パルスを印加するパルス生成手段と、前記勾配磁場生成手段が前記位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で前記読み出し方向に勾配磁場を印加し、前記コイルで受信したナビゲータ信号の内、一コイルで受信した当該ナビゲータ信号に基づいて、前記勾配磁場生成手段が同一励起期間内で前記位相エンコード方向に勾配磁場を印加し、前記読み出し方向に連続して極性反転させて前記勾配磁場を印加した状態で、前記複数のコイルで受信した受信信号の位相補正処理を行う位相補正手段と、前記位相補正処理手段が前記位相補正処理を行った前記複数のコイルの受信信号、および、前記複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記画像中の折り返し偽像を除去する除去手段とを有する。

【 0 0 0 9 】

さらに、前記目的を達成するために、本発明の第 3 の観点は、複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記複数のコイルによる受信信号より得られる画像から、折り返し偽像を除去する核磁気共鳴イメージング方法であって、前記複数のコイルの内の一コイルが、位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で受信した補正信号に基づいて、前記複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う第 1 の工程と、前記第 1 の工程が前記位相補正処理を行った前記複数のコイルの受信信号、および、前記複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記画像中の折り返し偽像を除去する第 2 の工程とを有する。

【 0 0 1 0 】

さらに、前記目的を達成するために、本発明の第 4 の観点は、複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記複数のコイルによる受信信号より得られる画像から、折り返し偽像を除去する核磁気共鳴イメージング方法であって、位相エンコード方向に勾配磁場を印加しない状態で前記読み出し方向に勾配磁場を印加し、前記コイルで受信したナビゲータ信号の内、一コイルで受信した当該ナビゲータ信号に基づいて、同一励起期間内で前記位相エンコード方向に勾配磁場を印加し、前記読み出し方向に連続して極性反転させて前記勾配磁場を印加した状態で、前記複数のコイルで受信した受信信号の位相補正処理を行う第 1 の工程と、前記第

1 の工程が前記位相補正処理を行った前記複数のコイルの受信信号、および、前記複数のコイルの感度分布差に基づいて、前記画像中の折り返し偽像を除去する第 2 の工程とを有する。

【 0 0 1 1 】

【発明の実施の形態】

本発明の第 1 実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 1 0 0 は、パラレルイメージング法、例えば複数のコイルによる受信信号に基づいて折り返し偽像を含む画像を生成し、複数のコイルの感度分布差に基づいて、折り返し偽像を除去した画像を生成する方法にて、複数のコイルの内の一コイルが受信した位相エンコード方向の加算情報を含む補正信号に基づいて、複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行い、その位相補正処理を行った複数のコイルの受信信号、および、複数のコイルの感度分布差に基づいて画像中の折り返し偽像を除去する。

【 0 0 1 2 】

折り返し偽像（アーチファクト）は、複数の受信コイルを用いて位相エンコード方向に撮像視野（F O V : Field of view ）を狭めて高速にスキャンを行い、例えば位相エンコードステップを間引いてスキャンを行うと、エイリアシングにより生成される。

以下、図を参照しながら本実施形態を説明する。

【 0 0 1 3 】

図 1 は本発明に係る核磁気共鳴イメージング装置の第 1 実施形態を示す構成図である。図 2 は図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置のマグネットアセンブリの断面図である。

本実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 1 0 0 は、図 1 , 2 に示すように、マグネットアセンブリ 1 0 1 、磁場電源 1 0 2 、勾配磁場駆動回路 1 0 3 、R F 電力増幅器 1 0 4 、前置増幅器 1 0 5 、表示装置 1 0 6 、制御部 1 0 7 、シーケンス記憶回路 1 0 8 、ゲート変調回路 1 0 9 、R F 発振回路 1 1 0 、A D 変換器 1 1 1 、位相検波器 1 1 2 、および操作卓 1 1 3 を有する。

【 0 0 1 4 】

マグネットアセンブリ 1 0 1 は、図 2 に示すように、内部に被検体 p を挿入す

るための空間部分（孔）を有し、空間部分を取り巻くように被検体 p に所定の磁場、例えば垂直磁場を印加する。

マグネットアセンブリ 101 は、詳細には図 2 に示すように、勾配磁場コイル 1011、送信コイル 1012、受信コイル 1013、および磁石 1014 を有する。

【0015】

勾配磁場コイル 1011 は、受信コイル 1013 が受信する磁気共鳴信号に 3 次元の位置情報を持たせるために、磁石 1014 が形成した静磁場の強度に勾配磁場を付ける勾配磁場を発生する。例えば勾配磁場コイル 1011 は X、Y、Z の各軸のコイルを有する。

勾配磁場コイル 1011 が発生する勾配磁場は、各 X、Y、Z 軸に沿った磁場の組み合わせにより、スライス（slice）方向のスライス勾配磁場、読み出し方向の読み出し勾配磁場（リードアウト勾配磁場とも言う）、および位相エンコード方向の勾配磁場（フェーズエンコード：Phase encode 勾配磁場とも言う）の 3 種類である。

【0016】

送信コイル 1012 は、勾配磁場コイル 1011 が形成した磁場空間内で、例えばクレイドル c r 上の被検体 p の体内の水素原子等の陽子スピンを励起するための高周波電磁場のパルス信号、例えば 90° 励起パルスおよび 180° 励起パルスを生成し出力する。

【0017】

受信コイル 1013 は、例えば被検体 p の体内の水素原子等の陽子スピンの回転運動に応じて出力される核磁気共鳴信号を受信し、前置増幅器 105 に出力する。

受信コイル 1013 は、複数の受信コイル、例えば図 2 に示すように、受信コイル 10131～10134 を有する。例えば受信コイル 10131、10133 は被検体 p の上部に設けられ、受信コイル 10132、10134 はクレイドル c r、被検体 p を介して受信コイル 10131、10143 と対向するように設けられている。

【0018】

受信コイル103は、例えばフェーズドアレイコイルである。フェーズドアレイコイルは、相対的に高感度な小型RF受信コイルを複数個並べて各コイルによる受信信号を合成することにより、RF受信コイルの高い感度を保ったまま視野を拡大し高感度化を図るために用いられる。

【0019】

磁石1014は、被検体pを囲むように設けられ、例えば磁場電源102からの供給電力に応じて一定の静磁場を被検体pに印加する常電導磁石である。磁石1014は本実施形態に限られるものではない。例えば磁石1014は、永久磁石であってもよいし、超電導磁石であってもよい。

【0020】

勾配磁場駆動回路103は、シーケンス記憶回路108からの制御により、勾配磁場コイル101に勾配磁場を生成させる駆動信号を出力する。

RF電力増幅器104は、ゲート変調回路109から出力されたRF信号を増幅し、送信コイル1012に出力する。

前置増幅器105は、受信コイル1013で検出された被検体pからの核磁気共鳴信号を増幅し、位相検波器112に出力する。

表示装置106は、制御部107の制御により所定の表示を行う。

【0021】

制御部107は、操作卓113との間で情報の授受や、種々のパルスシーケンスを実現するために、シーケンス記憶回路108の動作の切替や、メモリの書替えを行い、A/D変換器111から出力された各種データに基づいて、本実施形態に係る処理を行う。

【0022】

シーケンス記憶回路108は、制御部107の制御により、任意のビューでゲート変調回路109を操作（所定のタイミングによってRF発振回路110の高周波出力信号を変調）し、所定のパルスシーケンスに応じた高周波パルス信号を、RF電力増幅器104を介してRF送信コイル1012に印加する。

また、シーケンス記憶回路108は、フーリエ変換法に基づいてシーケンス信

号により勾配磁場駆動回路 103、ゲート変調回路 109 および A/D 変換器 111 を操作する。シーケンス記憶回路 108 は、上記一連のシーケンス動作に入る前に、ゲート変調回路 109 および勾配磁場駆動回路 103 を操作して、所望方向で選択励起する。

【0023】

ゲート変調回路 109、シーケンス記憶回路 108 からの信号に基づいて、所定のタイミングにより RF 発振回路 10 の高周波出力信号を変調する。

RF 発振回路 110 は、所定周波数の RF 信号搬送波を生成し、ゲート変調回路 109 および位相検波器 112 に出力する。

AD 変換器 111 は、位相検波器 112 による位相検波後のアナログ信号をデジタル信号に変換処理を行い、制御部 107 に出力する。

【0024】

位相検波器 112 は、RF 発振回路 110 の出力を参照信号とし、前置増幅回路 5 の出力信号（受信コイルで検出された信号）を位相検波し、A/D 変換器 111 に出力する。

操作卓 113 は、例えばユーザによる操作に応じた信号を制御部 107 に出力する。

【0025】

本実施形態の核磁気共鳴イメージング装置 1 は、レファレンススキャン、キャリブレーションスキャン、本スキャンを行い、パラレルイメージング法により画像を生成する。

【0026】

図 3 は、図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置の本スキャンのパルスシーケンスの一具体例を示す図である。

核磁気共鳴イメージング装置 100 の本スキャンのパルスシーケンスとして、例えば図 3 に示すように、エコープラナーイメージング（EPI：Echo planar imaging）法により核磁気共鳴信号を生成する。EPI 法は、RF パルス信号の後の核磁気共鳴信号の収集時に、読み取り方向（リードアウト方向）の勾配磁場 G_r の極性反転を何度も繰り返し多数のグラジュエントエコーを生成し、その核

磁気共鳴信号を受信する方法である。本スキャンでは、上述したように高速にスキャンを行うために、位相エンコード方向の位相エンコードステップを間引いてスキャンを行う。

【0027】

図3 (a) は送信コイル1012が出力するRFパルスであり、 90° 励起パルスおよび 180° 励起パルスのシーケンスを示す図であり、図3 (b), (c), (d) はスライス勾配磁場 G_s , 読み取り (リードアウト) 勾配磁場 G_r , および位相エンコード (フェーズエンコード) 勾配磁場 G_r のシーケンスを示す図であり、図3 (e) は核磁気共鳴信号のシーケンスである。

【0028】

図3 (a) に示すように、制御部107の制御によりシーケンス記憶回路108から 90° パルスを印加させる制御信号が出力すると、ゲート変調回路109, RF電力増幅器104を介して送信コイル1012から 90° パルスが出力され、核磁化の 90° 励起を行う。この際、図3 (b) に示すように勾配磁場駆動回路103は、勾配磁場コイル1011にスライス勾配パルスを出力し、勾配磁場コイル1011はスライス勾配磁場 G_s を生成して、所定のスライスについて選択励起を行う。

【0029】

図3 (c) に示すように、 90° 励起から所定の時間後に、シーケンス記憶回路108の制御により勾配磁場駆動回路103は、勾配磁場コイル1011に、リードアウト勾配磁場 G_r を印加させる。

図3 (a) に示すように、 90° 励起からさらに所定の時間後に、シーケンス記憶回路108の制御により、ゲート変調回路109, RF電力増幅器104を介して送信コイル1012から 180° 励起パルスが出力される。この際、図3 (b) に示すように、勾配磁場駆動回路103は勾配磁場コイル1011にスライス勾配パルスを出力し、勾配磁場コイル1011は、スライス勾配磁場 G_s を生成して、所定のスライスについて選択励起を行う。

【0030】

図3 (c) に示すように、 180° 励起の後、勾配磁場駆動回路103は、勾

配磁場コイル 1011 にリードアウト方向の極性が連続して反転した読み取り勾配磁場パルスを印加し、勾配磁場コイル 1011 はリードアウト方向に極性が連続して反転した勾配磁場を生成する。

【0031】

この際、図 3 (d) に示すように、勾配磁場駆動回路 103 は、勾配磁場コイル 1011 に所定の位相エンコード勾配磁場を生成させる信号を出力し、勾配磁場コイル 1011 は、その信号に応じて位相エンコード勾配磁場、例えば図 3 (d) に示すようにブリップパルス状の勾配磁場を生成する。

図 3 (e) に示すように、リードアウト勾配磁場 G_r によりリフェーズされた結果スピネエコーが生成され、受信コイル 1013 は核磁気共鳴信号 (MR 信号: Magnetic resonance) を受信する。この受信コイル 1013 で受信した信号は、前置増幅器 105、位相検波器 112、AD変換器 111 を介して、ローデータとして制御部 107 に出力される。

【0032】

図 4 は、図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置のレファレンス信号を得るためのパルスシーケンス図である。

レファレンス信号は、フェーズエンコード勾配磁場を印加しない状態で受信した核磁気共鳴信号である。レファレンス信号は本発明に係る補正信号に相当する。例えば図 4 を参照しながら、レファレンス信号を生成するパルスシーケンスによるレファレンススキャンを説明する。

【0033】

図 4 (a) は送信コイル 1012 が出力する RF パルスであり、 90° パルスおよび 180° パルスのシーケンスを示す図であり、図 4 (b), (c), (d) はスライス勾配磁場 G_s 、リードアウト勾配磁場 G_r 、およびフェーズエンコード勾配磁場 G_r のシーケンスを示す図であり、図 4 (e) は、核磁気共鳴信号のシーケンスである。

レファレンスシーケンスでは、図 4 (d) に示すように、フェーズエンコード勾配磁場 G_p を印加しない状態でスキャンを行う。この状態で受信される核磁気共鳴信号には、フェーズエンコード方向の加算情報が含まれている。

【0034】

詳細には、図4（a）に示すように、制御部107の制御によりシーケンス記憶回路108から90°パルスを印加させる制御信号が出力すると、ゲート変調回路109、RF電力増幅器104を介して送信コイル1012から90°パルスが出力され、核磁化の90°励起を行う。この際、図4（b）に示すように勾配磁場駆動回路103は勾配磁場コイル1011にスライス勾配パルスを出力し、勾配磁場コイル1011はスライス勾配磁場G_sを生成して、所定のスライスについて選択励起を行う。

【0035】

図4（c）に示すように、90°励起から所定の時間後に、シーケンス記憶回路108の制御により勾配磁場駆動回路103は、勾配磁場コイル1011にリードアウト勾配磁場G_rを印加させる。

図4（a）に示すように、90°励起からさらに所定の時間後に、シーケンス記憶回路108の制御により、ゲート変調回路109、RF電力増幅器104を介して送信コイル1012から180°励起パルスが出力される。この際、図4（b）に示すように、勾配磁場駆動回路103は勾配磁場コイル1011にスライス勾配パルスを出力し、勾配磁場コイル1011は、スライス勾配磁場G_sを生成して、所定のスライスについて選択励起を行う。

【0036】

図4（c）に示すように、180°励起の後、勾配磁場駆動回路103は、勾配磁場コイル1011にリードアウト方向の極性が連続して反転した読み取り勾配磁場パルスを印加し、勾配磁場コイル1011はリードアウト方向に極性が連続して反転した勾配磁場を生成する。

この際、図4（d）に示すように、フェーズエンコード勾配磁場G_pは印加しない。

【0037】

図4（e）に示すように、リードアウト勾配磁場G_rによりリフェーズされた結果スピネコーが生成され、受信コイル1013では核磁気共鳴信号を受信する。この受信コイル1013で受信した信号は、前置増幅器105、位相検波器

112, AD変換器111を介して、レファレンス信号として制御部107に出力される。レファレンス信号は、本発明に係る補正信号に相当する。

【0038】

図5は、レファレンス信号を説明するための図である。縦軸はフェーズエンコード方向、横軸はリードアウト（周波数エンコード）方向を示す。

フェーズエンコード方向に勾配磁場を印加せずに、核磁気共鳴信号を受信した場合には、フェーズエンコード方向では例えば被検体pの核磁化の位相が揃って回転する。このため、位相エンコード方向に沿った磁化の回転運動の加算結果（加算情報）に基づいた核磁気共鳴信号が受信される。

つまり、レファレンス信号は、フェーズエンコードしていないので、周波数エンコード方向のプロファイルになる。

例えば図5に示すように、この受信信号をリードアウト方向に逆フーリエ変換処理を行うと、例えば図5のリードアウト方向に沿った信号分布sdが得られる。この分布はリードアウト方向のマグニチュードと位相情報とを示している。この位相エンコード方向に磁場を印加せずに受信したMR信号は、補正信号として磁場不均一を除去する位相補正処理のために用いる。

【0039】

図6は、図1に示した核磁気共鳴イメージング装置の平行イメージング法を説明するための図である。図6（a）は第1コイルの距離に対する感度分布、図6（b）は第2コイルの距離に対する感度分布を示す。

例えば、受信コイル1013それぞれは固有の感度分布を有する。例えば受信コイル10132は図6（a）に示すような感度分布d10132を有し、受信コイル10131は図6（b）に示すような感度分布d10131を有する。ここでy軸方向は、図1に示したy軸に相当し、横軸は感度強度を示す。

キャリブレーションスキャンを行い受信コイル10132で受信したキャリブレーション信号に2次元逆フーリエ変換処理を行うと、例えば図6（c）に示すように、被検体pを示す画像の下部は鮮明な画質、上部は不鮮明な画質の画像S1が得られる。

受信コイル10131で受信したキャリブレーション信号に2次元逆フーリエ

変換処理を行うと、例えば図 6 (d) に示すように、被検体 p を示す画像の上部は鮮明な画質、下部は不鮮明な画質の画像 S 2 が得られる。

ここで、キャリブレーションスキャンでは、各コイルの感度分布を得るために位相エンコード方向のスキャン時にスキャン間隔を間引かずにスキャンし、Full FOV の画像を得る。

【0040】

本スキャンでは、撮像時間の短縮のために、例えば上述の受信コイル 10132, 10131 それぞれを用いて、位相エンコード方向のスキャン時にスキャン間隔を間引いてスキャンし、2 次元フーリエ変換処理（逆フーリエ変換）を行うと、狭い撮像視野 Small FOV (FOV: Field of view) の画像 A 1, A 2 を得る。この Small FOV の本スキャンでは、スキャン間隔を間引いてスキャンを行うために、エイリアシングにより図 6 (e), (f) に示すように、折り返し偽像（アーチファクト）が生じた画像 A 1, A 2 が得られる。この折り返し偽像を含む画像 A 1, A 2 から、画像 S 1, S 2 の感度分布差に基づいて展開処理（除去処理）を行い画像 V を生成する方法が、パラレルイメージング法である。

【0041】

この展開処理（アンフォールド処理）としては、例えば、非特許文献 Pruessmann, K. P., Weiger, M., Scheidegger, M. B., Boesiger, P., Magn. Reson. Med, 42, 952, 1999 に記載されたアンフォールド処理を行う。以下簡単にアンフォールド処理を説明する。

【0042】

求める撮像視野 Full FOV の複素数画像 V は、FOV を狭めたスキャンで得られる複素数画像 A (Coil 指標)、受信コイル 1013 の感度マップ (Sensitivity Matrix) S (Coil 指標, Pixel 指標) を用いて、数式 (1) により導出される。

Coil 指標はフェーズドアレイコイルのチャンネルを示し、Pixel 指標は折り返りの指標であり、リダクション因子 R に相当する。例えば $R = 2$ の場合には $1/2$ FOV でスキャンし、ピクセル指標は 2 までである。 S^* は、感度マップ S の随伴行列 (conjugate transpose) S^* である。

【0043】

【数1】

$$V = (S^* S)^{-1} S^* A$$

… (1)

【0044】

本実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置1は、エコープラナーイメージング(EPI: Echo planar imaging)を用いる。EPIは、静磁場不均一の影響を受けやすく、画像歪みが生じやすい。画像歪はサンプリング時間に比例する。パラレルイメージング方法では、例えば $R=2$ の場合には、FOVが $1/2$ となるために、 k 空間上の k_y 方向のサンプリング速度が2倍となり、画像歪みは $1/2$ になる。

本実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置100は、EPIにおいて、フェーズエンコード勾配を印加しない、レファレンススキャンで得られた補正信号に基いて、本スキャンによる受信信号の位相補正処理を行う。

【0045】

ここで、受信コイル1013それぞれで受信したレファレンス信号を用いて、受信コイル1013それぞれの本スキャンによる受信信号の位相補正処理を行うと、各コイル間の相対位相関係を崩してしまうために、パラレルイメージングのアンフォールド(Unfold)処理、折り返り偽像を解く処理において、正しい解を算出することが困難である。以下に、詳細に説明する。

【0046】

数式(1)に示したパラレルイメージング方法のアンフォールド処理による画像再構成により、感度マトリックス(Sensitivity matrix) S およびFOVを狭めた収集画像 A は複素数である。上述したように、フェーズドアレイコイル1013で受信する際に、各コイル特有の位相特性があり、感度マトリックス S は、各受信コイル1013の位相情報を持った複素数である。

【0047】

各受信コイル1013から得られる画像 A の位相の分布は受信コイル1013により異なる。そのため数式(1)を解く場合には、感度マトリックス S は各受

信コイル 1013 の位相情報を持った複素数である必要がある。

レファレンススキャンにより受信コイル 1013 それぞれで受信した補正信号に基いて、本スキャンにより受信コイル 1013 それぞれで受信した信号の位相補正処理を行う場合には、折り返り画像 A の各コイル間の相対位相関係を崩してしまい、画質を劣化させてしまう。なぜなら、レファレンススキャンによりコイルから得られる位相情報は、折り返り偽像を含む画像 A の位相情報と同等で、各コイル化の相対位相関係を補正により相殺してしまうからである。

一方、感度マトリックスの各コイル間の相対位相関係は、保存されているため矛盾が生じ、偽像が生じる。

【0048】

このため、本実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 1 は、位相補正処理の際に、複数のコイルの内の一コイルが受信した、レファレンス信号、位相エンコード方向の加算情報を含む補正信号に基いて、複数のコイルの受信信号の位相補正処理を行う。

【0049】

図 7 は、図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置の制御部の機能ブロック図である。

制御部 107 は、図 7 に示すように、第 1 フーリエ変換部 1071、位相補正部 1072、第 2 フーリエ変換部 1073、規格化部 1074、および展開部 1075 を有する。

位相補正部 1072 は本発明に係る位相補正手段に相当する。展開部 1075 は本発明に係る除去手段に相当する。以下、例えば受信コイル 1013 が 2 つの受信コイル 10131、10132 の場合を説明する。

【0050】

第 1 フーリエ変換部 1071 は、受信コイル 1013 で受信された信号に基づいてリードアウト方向にフーリエ変換処理（1 次元 DFT : Discrete Fourier transform）を行う。ここでフーリエ変換処理は、逆フーリエ変換処理（定義によりどちらでもよい）ともいう。

第 1 フーリエ変換部 1071 は、詳細にはレファレンススキャンにより、複数

の受信コイル1013の内一コイル、例えば受信コイル10131で受信されたレファレンス信号RA1refをリードアウト方向に1次元フーリエ変換処理を行い、信号A1' refを生成し位相補正部72に出力する。ここで、レファレンス信号RA1refは、リードアウト方向の1次元データである。

【0051】

第1フーリエ変換部1071は、本スキャンにより受信コイル10131, 10132が受信した本スキャン信号RA1, RA2を、リードアウト方向に1次元フーリエ変換処理を行い、信号A1', 信号A2'を生成し位相補正部1072に出力する。ここで、本スキャン信号RA1, RA2は、2次元データである。

【0052】

第1フーリエ変換部1071は、キャリブレーションスキャンにより得られた、キャリブレーションデータRC1, RC2を、1DFT処理を行い、C1', C2'を生成し、第2フーリエ変換部1073に出力する。キャリブレーションスキャンは、例えば予めFull FOVのスキャンを行い、k空間の低周波領域のデータをキャリブレーションデータとする。ここで、キャリブレーションデータRC1, RC2は2次元データである。

【0053】

位相補正部1072は、複数の受信コイルの内、1コイルで受信されたレファレンス信号（補正信号）に基づいて、複数の受信コイルが受信した本スキャンの受信信号の位相補正処理を行い、第2フーリエ変換部1073に出力する。

位相補正部1072は、受信コイル1013毎に位相補正部を有し、例えば図7に示すように第1位相補正部10721、第2位相補正部10722を有する。

【0054】

第1位相補正部10721は、第1フーリエ変換部71が出力した信号A1' refに基づいて、信号A1'の位相補正処理を行い、第2フーリエ変換部1073に出力する。第2位相補正部10722は、第1フーリエ変換部71が出力した信号A1' refに基づいて、信号A2'の位相補正処理を行い、第2フー

リエ変換部 1 0 7 3 に出力する。

【0 0 5 5】

位相補正処理を説明する。補正処理後のデータ $F(n)$ 、補正前のデータ $F'(n)$ 、1 次補正後のデータ $F''(n)$ は、数式 (2)、(3)、(4) に示すように計算される。ここで、 n はリードアウト方向のサンプルのインデックス n を示す。 j は虚数を示す。

【0 0 5 6】

【数 2】

$$F'(n) = F(n) e^{j(A+Bn)} \quad \dots (2)$$

【0 0 5 7】

【数 3】

$$F''(n) = F'(n) e^{-jBn} = F(n) e^{-jAn} \quad \dots (3)$$

【0 0 5 8】

【数 4】

$$F(n) = F''(n) e^{-jA} \quad \dots (4)$$

【0 0 5 9】

位相歪の 0 次係数 A 、1 次係数 B は、フェーズエンコード勾配を印加しないで得られたレファレンススキャンにより得られた MR 信号をリードアウト方向に 1 D F T したデータの位相分布から生成する。

詳細には、式 (5) に示すような、リードアウト方向の 1 D F T 後の複素ベクトル $Z(n)$ は、1 サンプル後のデータを $Z(n+1)$ とすると、 $Z(n+1)$ は数式 (6) に示すように計算される。

【0 0 6 0】

【数 5】

$$Z(n) = x(n) + j y(n) \quad \dots (5)$$

【0061】

【数6】

$$Z(n+1) = x(n+1) + jy(n+1)$$

… (6)

【0062】

1次位相の係数Bは、複素数の偏角 \arg を用いて、数式(7)に示すように算出される。

【0063】

【数7】

$$B = \arg \left[\sum_{k=1}^{N-1} \left\{ \frac{Z(k+1)}{Z(k)} \right\} \right]$$

… (7)

【0064】

0次位相の係数Aは、数式(8)に示すように、1次位相係数Bに基づいて算出される。

【0065】

【数8】

$$A = \arg \left\{ \sum_{k=1}^N Z(k) e^{-jBk} \right\}$$

… (8)

【0066】

具体的に位相補正処理としては、第1フーリエ変換部1071では、フェーズエンコード勾配を印加しないで得られたレファレンススキャンによる信号 $R A 1 \text{ ref } A 1'$ のリードアウト方向に1DFT処理を行う。

位相補正部1072では、その1DFT処理の結果のデータの位相分布に基づいて、数式(7)に示すように1次位相係数Bを生成し、数式(8)に示すように0次位相係数Aを生成する。0次位相補正係数Aおよび1次位相補正係数Bは

本発明に係る位相補正係数に相当する。

【0 0 6 7】

位相補正部 1 0 7 2 1 は、0 次位相の係数 A、および 1 次位相の係数 B に基づいて、数式 (2) に示すように、本スキンのデータ A 1' を位相補正処理を行い信号 A 1' ' を生成する。

【0 0 6 8】

詳細には、第 1 位相補正部 1 0 7 2 1 は、第 1 フーリエ変換部 7 1 が出力した信号 A 1' r e f に基づいて、0 次位相の係数 A、および 1 次位相の係数 B を生成し、0 次位相の係数 A、1 次位相の係数 B、およびデータ A 1' に基づいて数式 (9) により位相補正処理を行い、信号 A 1' ' を生成し、第 2 フーリエ変換部 1 0 7 3 に出力する。

【0 0 6 9】

【数 9】

$$A1'' = A1' \cdot e^{-j(A+Bn)} \quad \dots (9)$$

【0 0 7 0】

詳細には、第 2 位相補正部 1 0 7 2 2 は、第 1 フーリエ変換部 7 1 が出力した信号 A 1' r e f に基づいて、0 次位相の係数 A、および 1 次位相の係数 B を生成し、0 次位相の係数 A、1 次位相の係数 B、およびデータ A 2' に基づいて数式 (1 0) により位相補正処理を行い、信号 A 2' ' を生成し、第 2 フーリエ変換部 1 0 7 3 に出力する。

【0 0 7 1】

【数 1 0】

$$A2'' = A2' \cdot e^{-j(A+Bn)} \quad \dots (10)$$

【0 0 7 2】

第2フーリエ変換部1073は、フェーズエンコード方向に1次元フーリエ変換処理(1DFT)を行う。ここでフーリエ変換処理は、逆フーリエ変換処理(定義によりどちらでもよい)ともいう。

詳細には、第2フーリエ変換部1073は、位相補正部1072から出力された信号 A_1' 、信号 A_2' をフェーズエンコード方向に1DFT処理を行い、信号 A_1 、 A_2 を生成し、展開部1075に出力する。

また、第2フーリエ変換部1073は、信号 C_1' 、 C_2' をフェーズエンコード方向に1DFT処理を行い信号 C_1 、 C_2 を生成し、規格化部1074に出力する。

【0073】

規格化部1074は、規格化処理を行う。詳細には、規格化部1074は、 C_1 、 C_2 それぞれを規格化処理し、信号 S_1 、 S_2 を生成し、展開部1075に出力する。

展開部1075は、第2フーリエ変換部が生成した信号 A_1 、 A_2 および規格化部が生成した信号 S_1 、 S_2 に基づいて展開処理を行い、画像 V を生成する。詳細には、展開部1075は、上述した数式(1)に示すように、 S の随伴行列(Conjugate transpose) S^* を用いて、Full FOV画像 V を生成する。

【0074】

以上説明したように、位相補正部1072では、複数のコイルの内の1コイルで受信したレファレンス信号 A_1' refに基づいて、本スキャン時に複数の受信コイル、例えば受信コイル10131、10132で受信した信号 RA_1 、 RA_2 の位相補正処理を行い信号 A_1 、 A_2 を生成したので、信号 A_1 、 A_2 間では相対位相関係が保存されている。キャリブレーション信号 S_1 、 S_2 間では、2次元フーリエ変換処理後でも相対位相関係が保存されている。

この相対位相関係が保存された状態で、展開部1075が展開処理(折り返し偽像の除去処理)を行うことにより、高画質のFull FOVの画像 V を生成することができる。

【0075】

図8は、図1に示した核磁気共鳴イメージング装置の動作を説明するための図

である。図8を参照しながら核磁気共鳴イメージング装置の動作を説明する。

ステップST1において、キャリブレーションスキャンを行う。キャリブレーションスキャンでは、例えばFull FOVスキャンを行い、受信コイル10131, 10132で受信した信号が前置増幅器105, 位相検波器112, AD変換器111を介して制御部107に出力される。制御部107では、キャリブレーションスキャンによる信号の内、k空間上の低周波領域のデータを、キャリブレーション信号RC1、RC2とする。

【0076】

ステップST2において、レファレンススキャンが行われる。レファレンススキャンは、位相エンコード勾配磁場G_pを印加しないでスキャンを行う。

例えば、図4に示すように、送信コイル1012から被検体pに、90°励起パルスおよび180°励起パルスが印加され、勾配磁場コイル1011ら極性を連続して反転させたリードアウト勾配磁場G_rが印加される。この間、位相エンコード勾配磁場G_pを印加しない状態でスキャンが行われる。

このレファレンススキャンにより、位相エンコード方向の加算情報を含む補正信号としてのレファレンス信号が受信コイル1013で受信され、前置増幅器105, 位相検波器112, AD変換器111を介して制御部107に出力される。

【0077】

ステップST3において、本スキャン（イメージングスキャン）が行われる。詳細には、フェーズエンコード方向のスキャンステップを間引いて、スキャンを行う。例えば図3に示したように、送信コイル1012から被検体pに、90°励起パルスおよび180°励起パルスが印加され、勾配磁場コイル1011ら極性を連続して反転させたリードアウト勾配磁場G_rが印加される。この間、位相エンコード勾配磁場G_pとして所定の大きさの勾配磁場が印加される。

本スキャンにより、受信コイル10131, 10132で受信された信号は、前置増幅器105, 位相検波器112, AD変換器111を介して制御部107に出力される。

【0078】

ステップ S T 4 において、複数の受信コイルの内一つの受信コイルで受信したレファレンス信号が選択され、そのレファレンス信号に基づいて、位相補正処理が行われる（S T 5）。

【0079】

図 9 は、制御部 107 の選択処理を説明するための図である。

制御部 107 は、例えば図 9 に示すようにレファレンス信号を選択する選択部 1070 を有する。

選択部 1070 は、例えば複数の受信コイル 1013 の内から、1 コイルが受信した信号を選択する場合に、予め決められた受信コイル、例えば受信コイル 10311 を選択し、選択した信号を出力する。

【0080】

選択部 1070 は、上述した形態に限られるものではない。例えば、選択部 1070 は、複数の受信コイル 1013 の内、受信強度に基づいて受信信号を選択してもよい。例えば最も強い信号強度の受信コイル 1013 で受信された信号を選択し、選択した信号を出力してもよい。こうすることにより、後段の処理で精度の高い位相補正処理を行うことができる。

【0081】

また、選択部 1070 は、複数の受信コイル 1013 の内、受信感度分布に基づいて受信信号を選択してもよい。例えば選択部 1070 は、受信コイル 1013 の内、感度分布が最も広い受信コイル 1013 で受信された信号を選択し、選択した信号を出力してもよい。こうすることにより、後段の処理で精度の高い位相補正処理を行うことができる。

【0082】

また、選択部 1070 は、受信強度の画像を生成し、その画像内の 2 次元積分値に基づいて受信信号を選択してもよい。例えば選択部 1070 は、受信コイル 1013 の内、受信強度の画像を生成し、その画像内の 2 次元積分値、つまり画像強度の総和が最も大きな受信信号を選択し、選択した信号を出力してもよい。こうすることにより、後段の処理で精度の高い位相補正処理を行うことができる。

。

【0083】

ステップST6において、受信コイル1013により受信され選択部1070により選択され、レファレンス信号、例えば信号RA1refが、第1フーリエ変換部1071により、リードアウト方向にフーリエ変換処理が行われ、処理結果の信号A1' refが位相補正部1072に出力される。

また、本スキャンにより、受信コイル10131, 10132で受信された信号RA1, RA2が、第1フーリエ変換部1071により、リードアウト方向にフーリエ変換処理が行われ、処理結果の信号A1', A2' が位相補正部1072に出力される。

【0084】

第1位相補正部10721では、信号A1' および信号A1' refに基づいて位相補正処理が行われ、第2フーリエ変換部1073に出力される。

第2位相補正部10722では、信号A2' および信号A1' refに基づいて位相補正処理が行われ、第2フーリエ変換部1073に出力される。

【0085】

一方、キャリブレーションスキャンにより得られた信号RC1, RC2は、第1フーリエ変換部1073によりフーリエ変換処理が行われ、処理結果の信号C1', C2' が、第2フーリエ変換部2073に出力される。信号C1', 信号C2' は、第2フーリエ変換部1073によりフェーズエンコード方向に1DFT処理が行われ、信号C1, C2として規格化部1074に出力され、規格化部1074により規格化処理が行われ、信号S1, S2として、展開部1075に出力される。

【0086】

位相補正部1072から出力された信号A1'', 信号A2'' は、第2フーリエ変換部2073により、フェーズエンコード方向に1DFT処理が行われ、信号A1, A2として、展開部1075に出力される。

【0087】

ステップST6において、展開部1075では、第2フーリエ変換部1073から出力された信号A1, A2、および規格化部1074から出力された信号S

1, S2に基づいて、数式(1)に示す展開処理(除去処理)が行われ、Full FOVの画像Vが生成される。

【0088】

以上説明したように、複数の受信コイル1013の内の一コイル、例えば受信コイル10131が、位相エンコード方向の勾配磁場G_pを印加しない状態で受信した、位相エンコード方向の加算情報を含む補正信号としての、レファレンス信号に基づいて、本スキンの受信信号の位相補正処理を行う位相補正部1072と、位相補正部1072が位相補正処理を行った本スキンの複数の受信コイル1013の受信信号、および、キャリブレーションスキンのにより生成された複数の受信コイル1013の感度分布差に基づいて、画像中の折り返し偽像を除去する展開部1075を設けたので、コイル間の相対位相関係を保ったまま、位相補正処理を行い、その位相補正処理の結果を用いて、展開処理(除去処理)を行うので、画像Vの画質が低下することなく折り返し偽像を除去することができる。

【0089】

図10は、第2実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置100bのパルスシーケンスを示す図である。

第2実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置100bは、パルスシーケンスとして拡散強調EPI(Diffusion weighted EPI)で、上述したパラレルイメージング法において、位相補正処理を行う。

核磁気共鳴イメージング装置100bは、第1実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置100とほぼ同じ構成であり、同じ構成要素については説明を省略し、相違点のみ説明する。

【0090】

拡散は、例えば分子のランダムな熱運動の過程(ブラウン運動)により生成される。核磁気共鳴イメージング装置100bは、拡散するプロトンを分散させて信号を生じないようにするために、例えば図10(f)に示すように拡散強調傾斜磁場として、180°パルス信号の前後に1対の拡散強調用勾配磁場MPG(Motion probing gradient)を印加する。この拡散強調傾斜磁場は、G_s, G_r

、 G_p の任意の軸に印加される。

【0091】

核磁気共鳴イメージング装置100bは、本スキャンにおいて、上述したように拡散強調用勾配磁場MPGを付加して、本スキャンの狭い撮像視野FOVの核磁気共鳴信号を受信する。

核磁気共鳴イメージング装置100bは、レファレンススキャンとしては、例えば第1実施形態と同様に位相エンコード方向に勾配磁場 G_p をかけずに核磁気共鳴信号を生成、受信するパルスシーケンスにより行う。また、各コイルの感度分布としては、第1実施形態と同様にFull FOVのスキャンを行いk空間の低周波域のデータに基づいて生成する。

【0092】

位相補正部1072は、一の受信コイル1013で受信し、第1フーリエ変換部1071でリードアウト方向にフーリエ変換されたレファレンス信号に基づいて、複数の受信コイル1013それぞれで受信した、本スキャンの受信信号の位相補正処理を行い、第2フーリエ変換部1073に出力する。

その他の構成要素の処理は、第1実施形態に係る構成要素と同様な処理を行うので説明を省略する。

【0093】

以上説明したように、本実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置100bは、 180° RFパルスの前後に拡散強調磁場MPGを印加することにより、第1実施形態の核磁気共鳴イメージング装置100に比べて拡散強調画像Vを得ることができる。また、1つの受信コイルで得られたレファレンス信号に基づいて、Small FOVの本スキャン信号の位相補正処理を行うので、画質が低下することなく、折り返り偽像を除去したFull FOV画像を生成することができる。

【0094】

第3実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置100cは、パラレルイメージング法、かつマルチショットEPI法を用いて画像Vを生成する。

マルチショットEPI法のパルスシーケンスで問題となる位相エラーは、体動位相エラーや磁場不均一に起因する磁場不均一位相エラー等が知られている。本

実施形態の核磁気共鳴イメージング装置 100c は、この位相エラーを補正するために、ナビゲーション用エコーを生成する。

【0095】

図 11 は本発明に係る核磁気共鳴イメージング装置の第 3 実施形態を示す構成図である。図 12 は図 11 に示した核磁気共鳴イメージング装置のマルチショット拡散強調 EPI 法のパルスシーケンス図である。図 13 は図 11 に示した核磁気共鳴イメージング装置の制御部の機能ブロック図である。

【0096】

核磁気共鳴イメージング装置 100c は、図 11 に示すように、マグネットアセンブリ 101、磁場電源 102、勾配磁場駆動回路 103、RF 電力増幅器 104、前置増幅器 105、表示装置 106、制御部 107、シーケンス記憶回路 108c、ゲート変調回路 109、RF 発振回路 110、AD 変換器 111、位相検波器 112、および操作卓 113 を有する。

【0097】

核磁気共鳴イメージング装置 100c は、第 1 実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 100 とほぼ同じ構成であり、例えばマグネットアセンブリ 101 は、第 1 実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 100 と同様に、図 2 に示すような構成を有する。同じ構成要素については、第 1 実施形態と同一の符号を付して説明を省略する。

【0098】

核磁気共鳴イメージング装置 100c と、第 1 実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 100 との大きな相違点は、シーケンス記憶回路 108c と、制御部 107c である。

【0099】

シーケンス記憶部 108c は、図 13 に示すように、マルチショット拡散強調 EPI 法のパルスシーケンスを記憶し、制御部 107c の制御に応じて勾配磁場駆動回路 103 に、勾配磁場コイル 1011 を介して所定の勾配磁場を印加させる。

制御部 107c は、複数の受信コイル 1013 の内、1 の受信コイルで受信さ

れたナビゲーション用エコー $N e_1, N e_2, \dots$, から得られる補正用データを、第1実施形態に係る補正信号 $R A_1$ とする。

【0100】

また、制御部 107c は、複数の受信コイル 1013、例えば受信コイル 10131, 10132 それぞれで受信された、イメージング用エコー e_1, e_2, \dots, e_M を、それぞれ第1実施形態に係る本スキンの信号 $R A_1, R A_2$ とする。

以降の処理は第1実施形態に係る処理と同様な処理であり、位相補正部 1072 は、ナビゲーション用エコーに基づいて、イメージング用エコー信号の位相補正処理を行い、展開部 1075 が展開処理（除去処理）を行う。

【0101】

本実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 100c は、図12に示すように、 90° 励起パルスと、スライス勾配磁場 $S G_{90}$ とを印加し、所定時間後に $M P G$ (Motion probing gradient) パルスを印加する。

次に 180° $R F$ パルスと、スライス勾配磁場とを印加し、所定時間後に $M P G$ パルスを印加する。

次に、交互に正負に反転するデータ収集用リード $N r_1, \dots, N r_j$ ($j \geq 1$ 、図では、 $j = 2$) を連続的に印加し、第1ナビゲーション用エコー $N e_1$ から第 j ナビゲーション用エコー $N e_j$ が順に収束するのとタイミングを合わせてサンプリングし、各ナビゲーション用エコー $N e_1, \dots, N e_j$ に対応した補正用データ $H(n, 1), \dots, H(n, j)$ をそれぞれ収集する。

【0102】

補正用データを得るときには、位相エンコード方向の勾配磁場は印加していない。このため核磁気共鳴信号には、第1実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 100 に示したように位相エンコード方向の加算情報が含まれている。この情報に基づいて位相補正を行う。

【0103】

続けて、交互に正負に反転するデータ収集用リード勾配 r_1, \dots, r_M を連続的に印加しかつ反転時に位相エンコード勾配磁場を印加し $p d_n, \dots, p d_M$ を印

加し、第1エコー e_1 から第Mエコー e_M が順に収束するのとタイミングを合わせてサンプリングし、各エコー e_1, \dots, e_M に対応したデータ $F(n, 1), \dots, F(n, M)$ をそれぞれ収集する。これを位相エンコード勾配 $p d n$ の大きさを変えながら、 $n = 1, \dots, N$ について繰り返して、 k 空間を埋める $F(1, 1) \sim F(N, M)$ を収集する。

【0104】

制御部 107c は、複数の受信コイル 1013 の内、一受信コイル、例えば受信コイル 10131 で得られた補正用データ $H(n, 1), \dots, H(n, j)$ を第1実施形態に係るレファレンス信号 $RA1ref$ とみなし、複数の受信コイル 1013 それぞれで受信された、コイル $F(1, 1) \sim F(N, M)$ を、第1実施形態に係る信号 $RA1, RA2$ として、位相補正処理を行う。

また、核磁気共鳴イメージング装置 100c は、第1実施形態と同様に、予めキャリブレーションスキャンにより、受信コイル 1013 それぞれで信号 $RC1, RC2$ を受信する。

制御部 107c は、このキャリブレーション信号 $RC1, RC2$ に基づいて展開（除去処理）処理を行う。

【0105】

以上説明した構成の動作を簡単に説明する。

まず、キャリブレーションスキャンを行う。キャリブレーションスキャンでは、例えば Full FOV スキャンを行い、受信コイル 10131, 10132 で受信した信号が前置増幅器 105, 位相検波器 112, AD変換器 111 を介して制御部 107 に出力される。制御部 107 では、キャリブレーションスキャンによる信号の内、 k 空間上の低周波領域のデータを、キャリブレーション信号 $RC1, RC2$ とする。

【0106】

マルチショット拡散強調 EPI パルスシーケンスに応じて、ナビゲーション用エコーおよびイメージング用エコーを生成する。ナビゲーション用エコー信号は、図 12 に示すように、位相エンコード勾配磁場 G_p を印加しないでスキャンが行われる。

ナビゲーション用エコー信号は、フェーズエンコード方向のスキャンステップを間引いて行われる。

【0107】

マルチショット拡散強調EPIパルスシーケンスにより、受信コイル10131, 10132で受信された信号は、前置増幅器105, 位相検波器112, AD変換器111を介して制御部107cに出力される。

【0108】

制御部107cでは、複数の受信コイル1013の内一つの受信コイルで受信した、各ナビゲーション用エコー Ne_1, \dots, Ne_j に対応した補正用データ $H(n, 1), \dots, H(n, j)$ を信号 $RA1ref$ とする。

また、複数の受信コイル10131, 10132それぞれで受信されたコイル $F(1, 1) \sim F(N, M)$ を、第1実施形態に係る信号 $RA1, RA2$ とする。

【0109】

以下第1実施形態と同様に、信号 $RA1ref$ が、第1フーリエ変換部1071により、リードアウト方向にフーリエ変換処理が行われ、処理結果の信号 $A1' ref$ が位相補正部1072に出力される。

受信コイル10131, 10132で受信された信号 $RA1, RA2$ が、第1フーリエ変換部1071により、リードアウト方向にフーリエ変換処理が行われ、処理結果の信号 $A1', A2'$ が位相補正部1072に出力される。

【0110】

第1位相補正部10721では、信号 $A1'$ および信号 $A1' ref$ に基づいて位相補正処理が行われ、第2フーリエ変換部1073に出力される。

第2位相補正部10722では、信号 $A2'$ および信号 $A1' ref$ に基づいて位相補正処理が行われ、第2フーリエ変換部1073に出力される。

【0111】

一方、キャリブレーションスキャンにより得られた信号 $RC1, RC2$ は、第1フーリエ変換部1073によりフーリエ変換処理が行われ、処理結果の信号 $C1', C2'$ が、第2フーリエ変換部2073に出力される。信号 $C1'$, 信号

C2' は、第2フーリエ変換部1073によりフェーズエンコード方向に1DFT処理が行われ、信号C1、C2として規格化部1074に出力され、規格部1074により規格化処理が行われ、信号S1、S2として、展開部1075に出力される。

【0112】

位相補正部1072から出力された信号A1'', 信号A2'' は、第2フーリエ変換部2073により、フェーズエンコード方向に1DFT処理が行われ、信号A1、A2として、展開部1075に出力される。

【0113】

展開部1075では、第2フーリエ変換部1073から出力された信号A1、A2、および規格化部1074から出力された信号S1、S2に基づいて、数式(1)に示すような展開処理(除去処理)が行われ、Full FOVの画像Vが生成される。

【0114】

以上説明したように、本実施形態では、パラレルイメージング法、かつマルチショット拡散EPI法を用いて、ナビゲーション用エコー信号を生成し、複数の受信コイル1013の内、1受信コイルで受信したナビゲーション用エコー信号を補正信号として、複数の受信コイル1013で受信されたイメージング用エコー信号の位相補正処理を行う位相補正部1072と、位相補正部1072が位相補正処理を行ったイメージング用エコー信号、およびキャリブレーションスキャンにより生成された複数の受信コイル1013の感度分布差に基づいて、画像中の折り返し偽像を除去する展開部1075を設けたので、コイル間の相対位相関係を保ったまま、位相補正処理を行い、その位相補正処理の結果を用いて、展開処理(除去処理)を行うので、画像Vの画質が低下することなく折り返し偽像を除去することができる。

【0115】

また、マルチショット拡散強調EPIでパラレルイメージング法において位相補正処理を行うので、高速に、画像の高品質のFull FOV画像を得ることができる。

【 0 1 1 6 】

なお、本発明は本実施の形態に限られるものではなく、任意好適な種々の改変が可能である。

本実施形態では、複数の受信コイル 1 0 1 3 の内、予め定められた 1 受信コイルで受信された、ナビゲーション用エコー信号に基づいて、複数の受信コイル 1 0 1 3 で受信されたイメージング用エコー信号の位相補正処理を行ったが、この形態に限られるものではない。例えば第 1 実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置と同様に選択部を設け、受信強度、感度分布の広さ、2 次元積分値に基づいて、受信コイルの内、1 受信コイルで受信されたナビゲーション用エコー信号を選択してもよい。

【 0 1 1 7 】

また、第 1, 2, 3 実施形態では、2 つの受信コイルを例示したがこの形態に限られるものではない。例えば、より多数の受信コイル 1 0 1 3 を設け、その中の 1 つの受信コイルで受信された信号に基づいて、位相補正処理を行うことにより高画像 V を得ることができる。

【 0 1 1 8 】**【発明の効果】**

本発明によれば、画像の画質が低下することなく折り返し偽像を除去することができる核磁気共鳴イメージング装置、および核磁気共鳴方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

図 1 は本発明に係る核磁気共鳴イメージング装置の第 1 実施形態を示す構成図である。

【図 2】

図 2 は図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置のマグネットアセンブリの断面図である。

【図 3】

図 3 は、図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置の本スキンのパルスシー

ケンスの一具体例を示す図である。

【図 4】

図 4 は、図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置のレファレンス信号を得るためのパルスシーケンス図である。

【図 5】

図 5 は、レファレンス信号を説明するための図である。

【図 6】

図 6 は、図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置の平行イメージング法を説明するための図である。

【図 7】

図 7 は、図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置の制御部の機能ブロック図である。

【図 8】

図 8 は、図 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置の動作を説明するための図である。

【図 9】

図 9 は、制御部の選択処理を説明するための図である。

【図 1 0】

図 1 0 は、第 2 実施形態に係る核磁気共鳴イメージング装置 1 0 0 b のパルスシーケンスを示す図である。

【図 1 1】

図 1 1 は、本発明に係る核磁気共鳴イメージング装置の第 3 実施形態を示す構成図である。

【図 1 2】

図 1 2 は、図 1 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置のマルチショット拡散強調 E P I 法のパルスシーケンス図である。

【図 1 3】

図 1 3 は、図 1 1 に示した核磁気共鳴イメージング装置の制御部の機能ブロック図である。

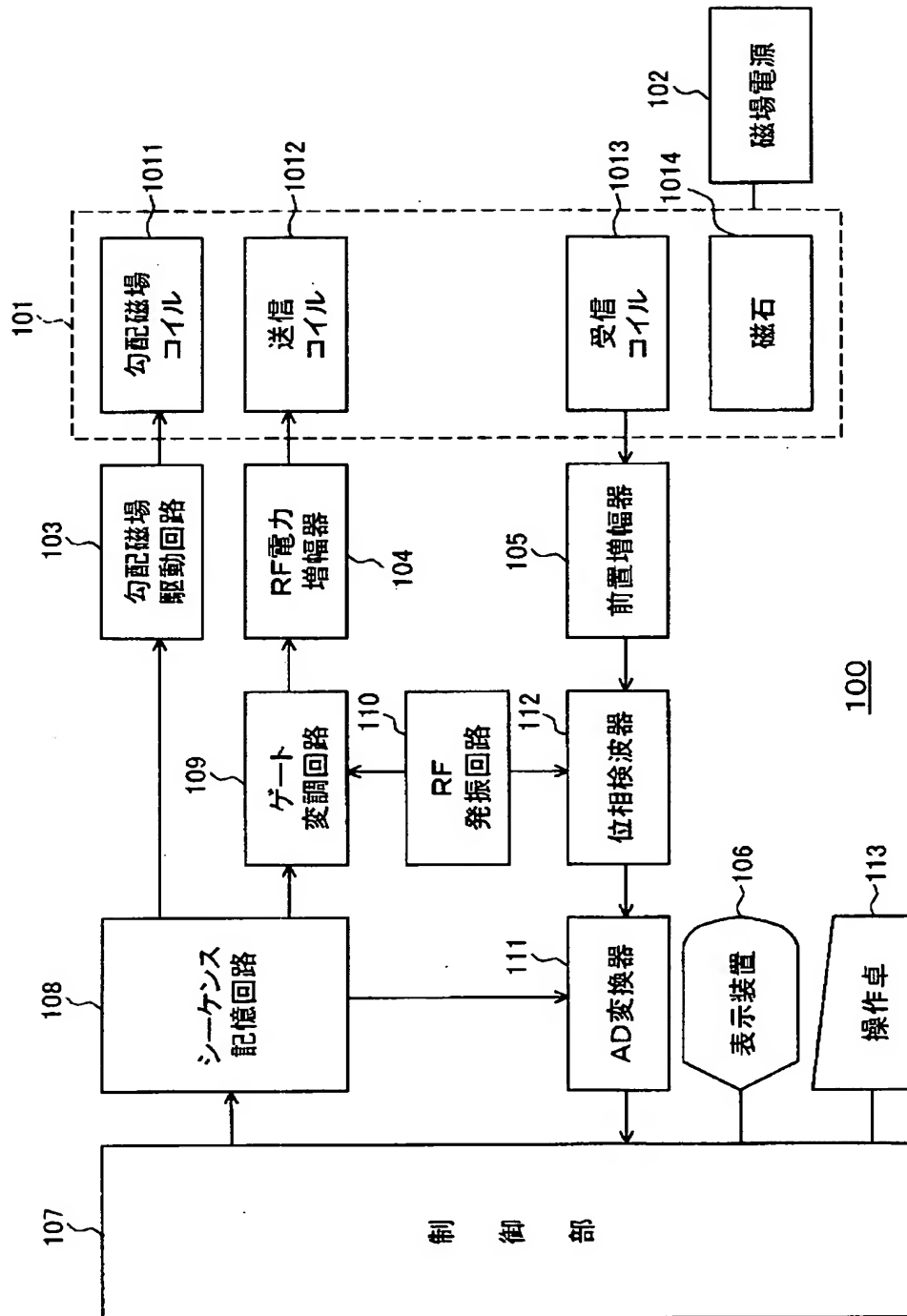
【符号の説明】

100, 100a, 100b, 100c…核磁気共鳴イメージング装置、101…マグネットアセンブリ、102…磁場電源、103…勾配磁場駆動回路、104…RF電力増幅器、105…前置増幅器、106…表示装置、107…制御部、108…シーケンス記憶回路、109…ゲート変調回路、110…RF発振回路、111…AD変換器、112…位相検波器、113…操作卓、1011…勾配磁場コイル、1012…送信コイル、1013…受信コイル、1014…磁石、1071…第1フーリエ変換部、1072…位相補正部、1073…第2フーリエ変換部、1074…規格化部、1075…展開部。

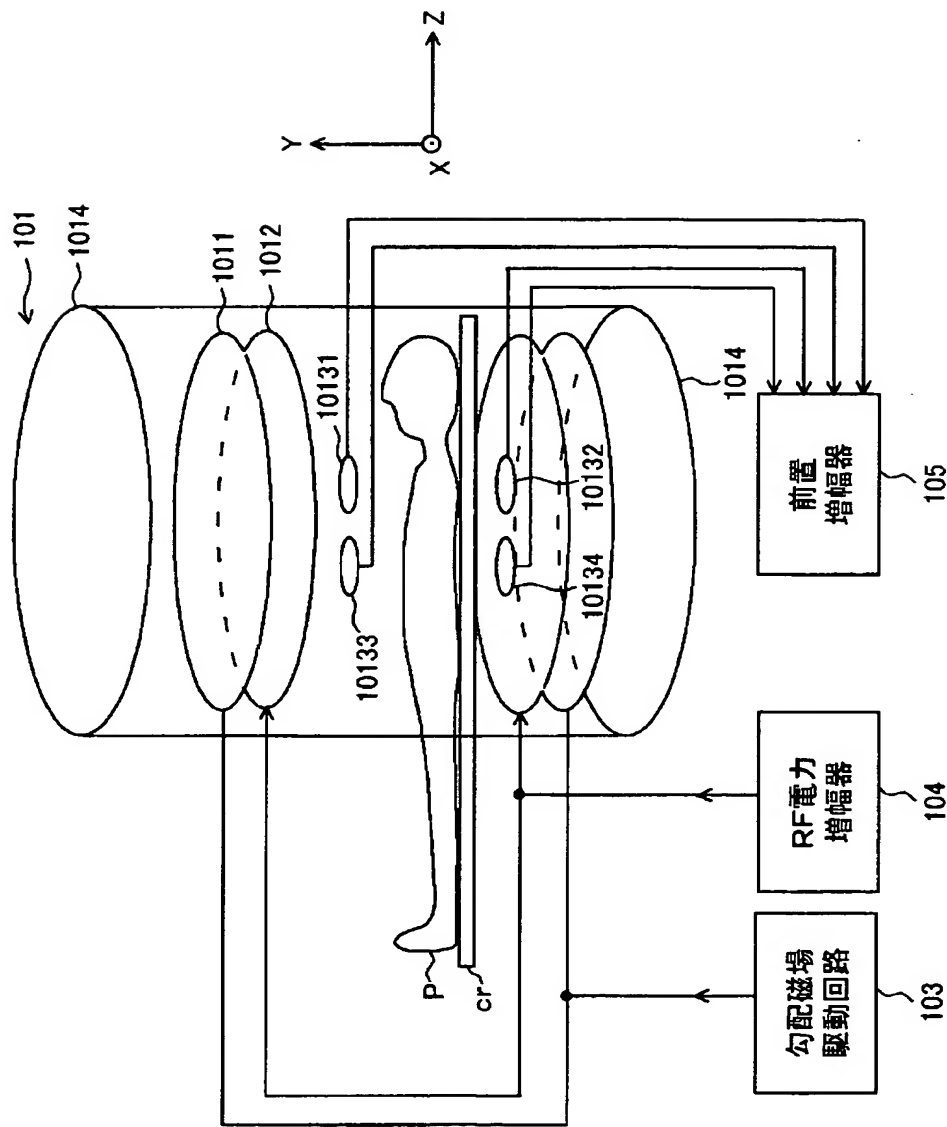
【書類名】

図面

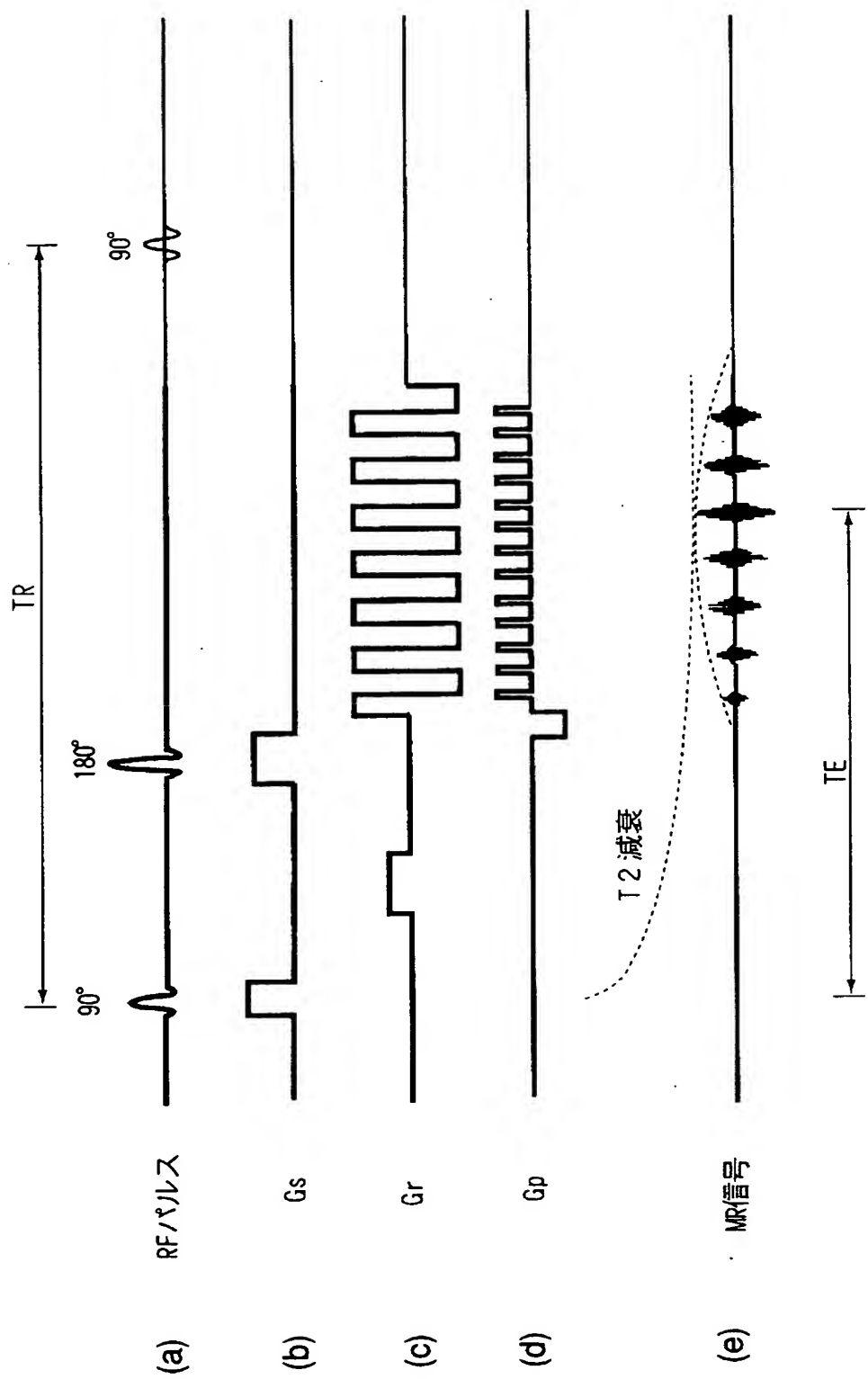
【図 1】



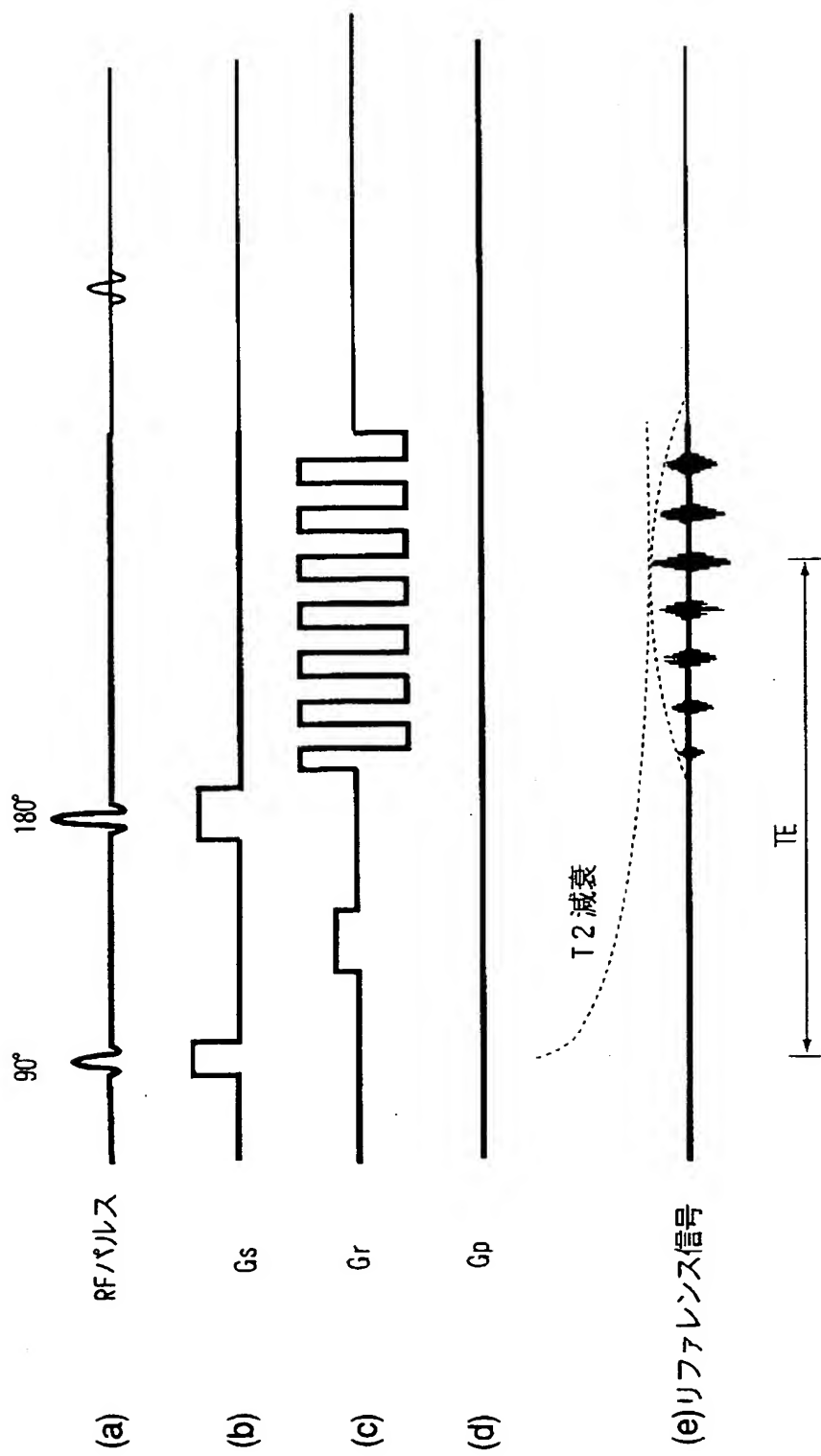
【図 2】



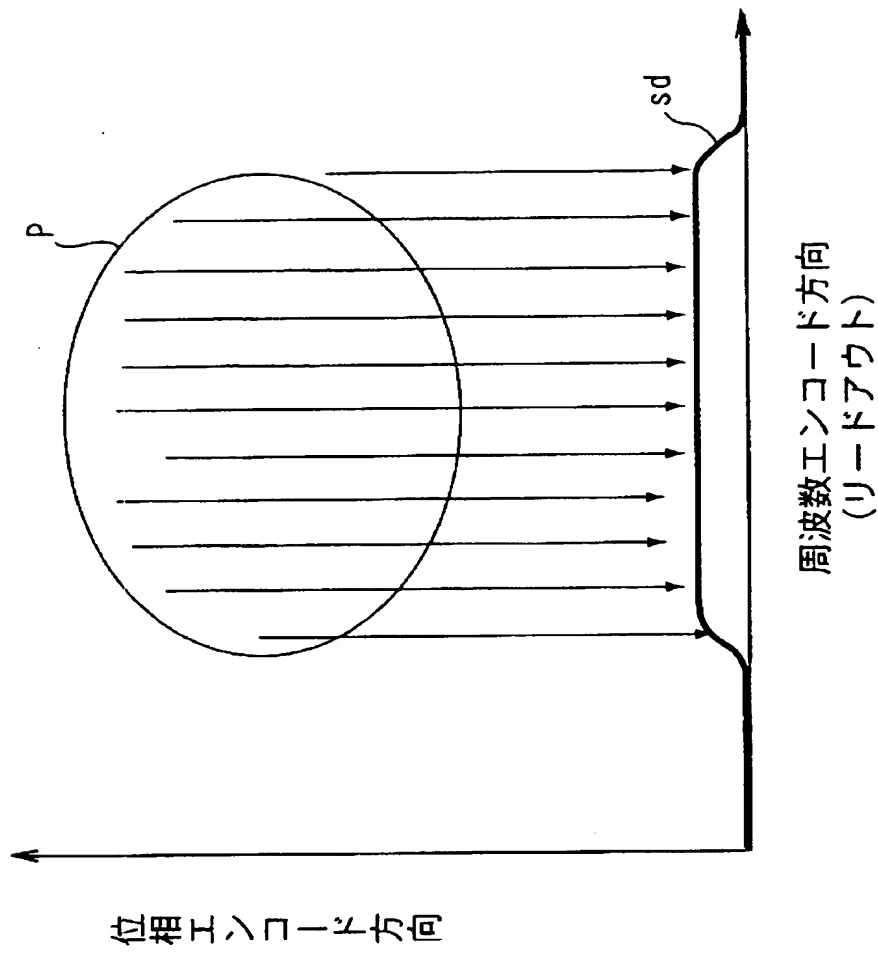
【図 3】



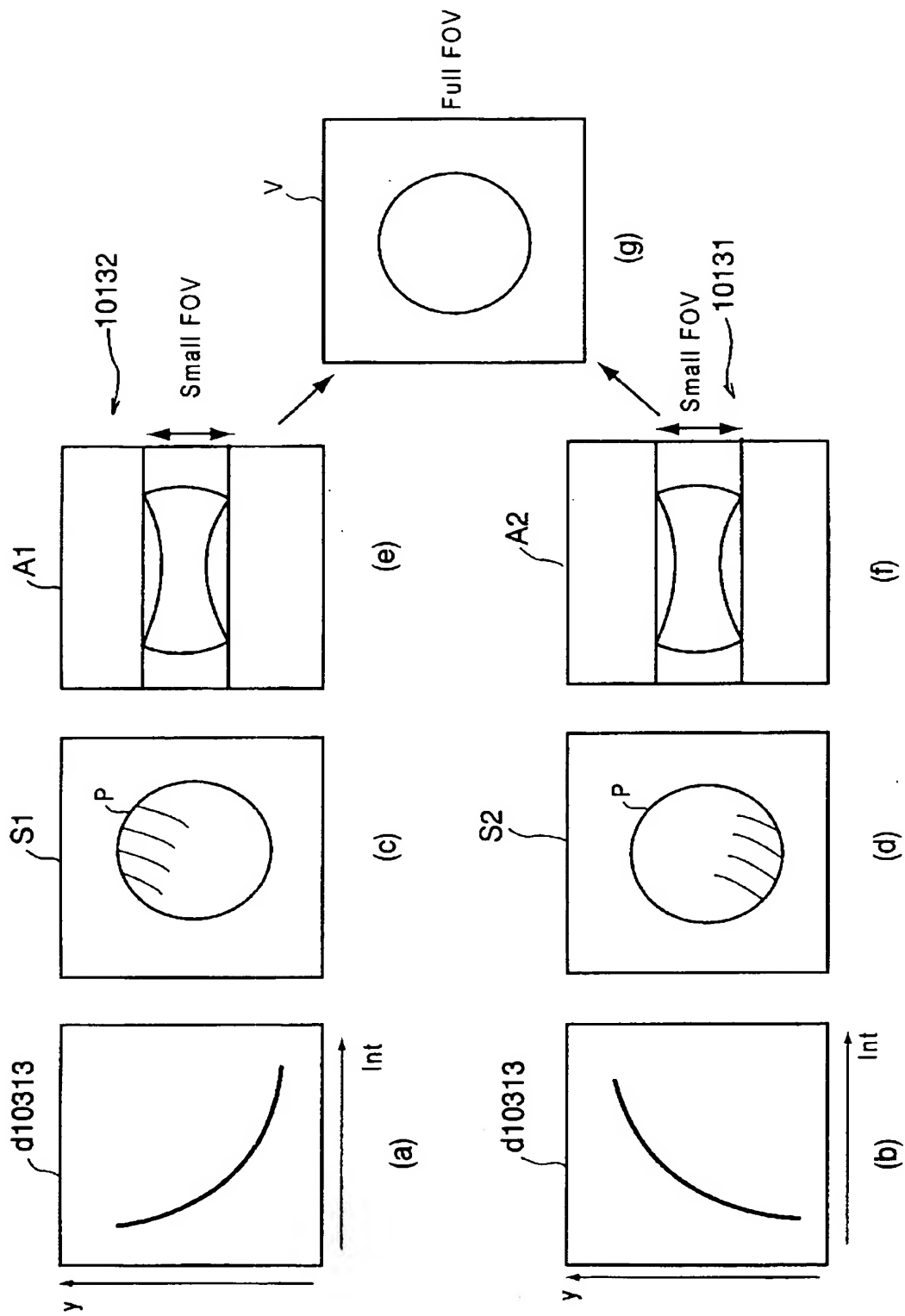
【図 4】



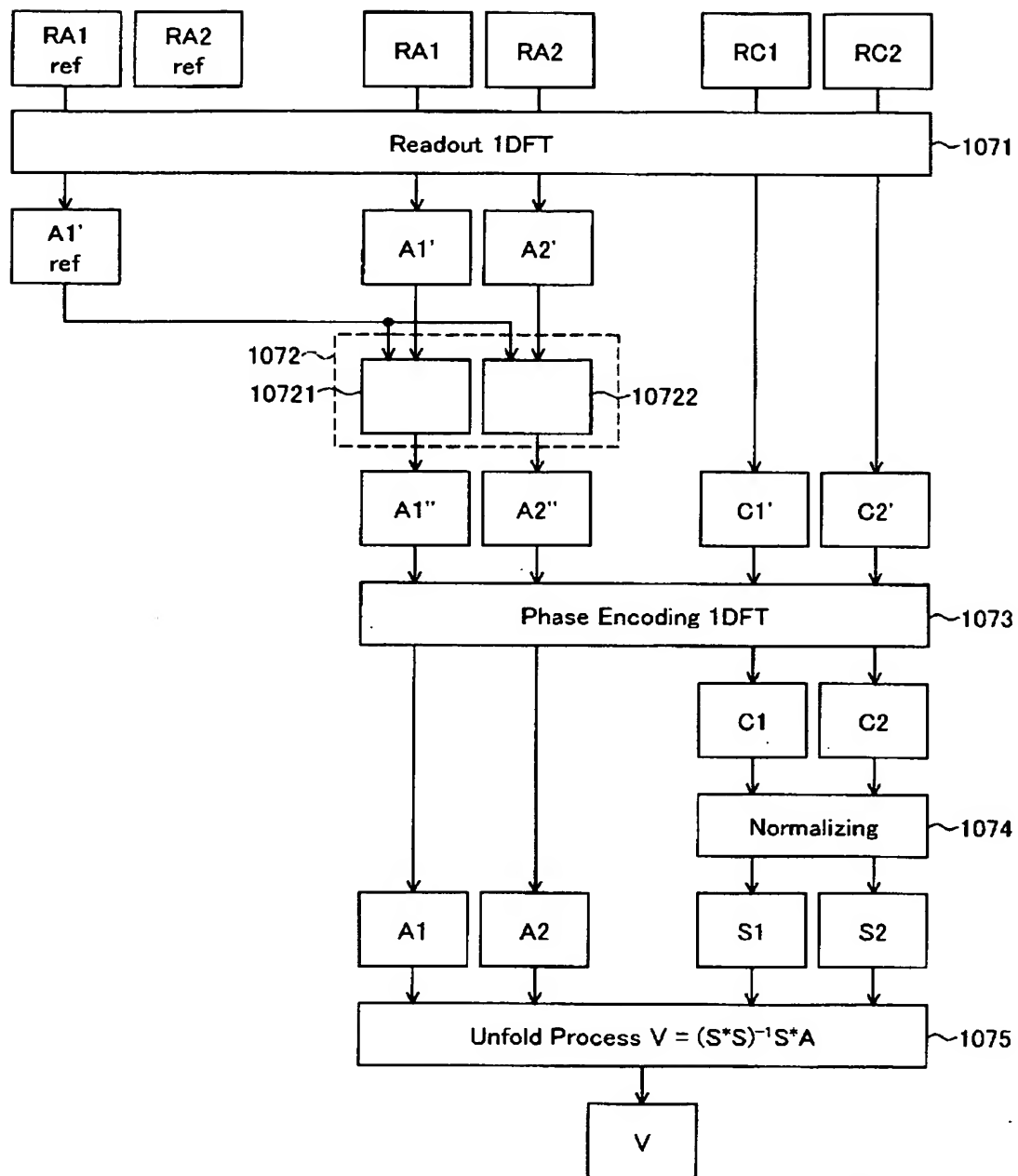
【図 5】



【図 6】

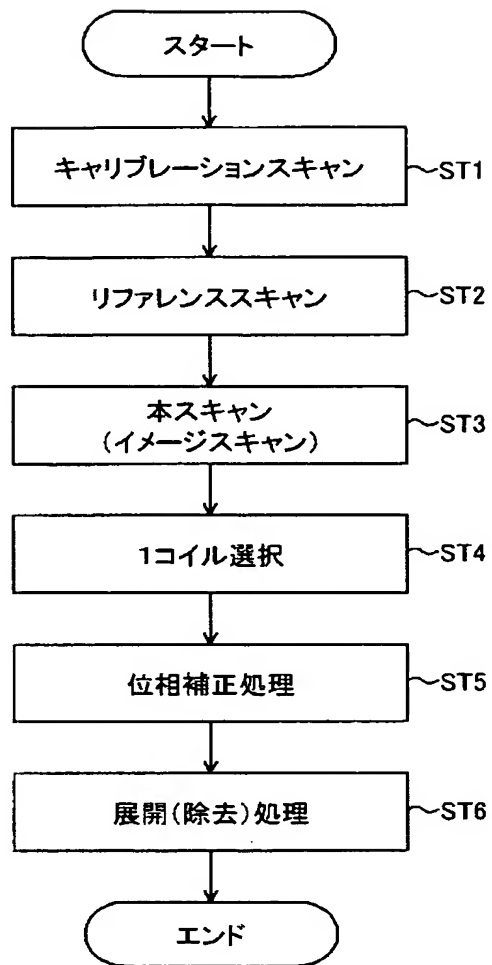


【図 7】

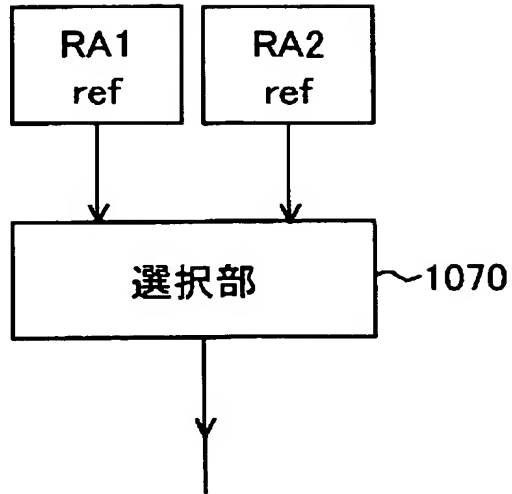


107

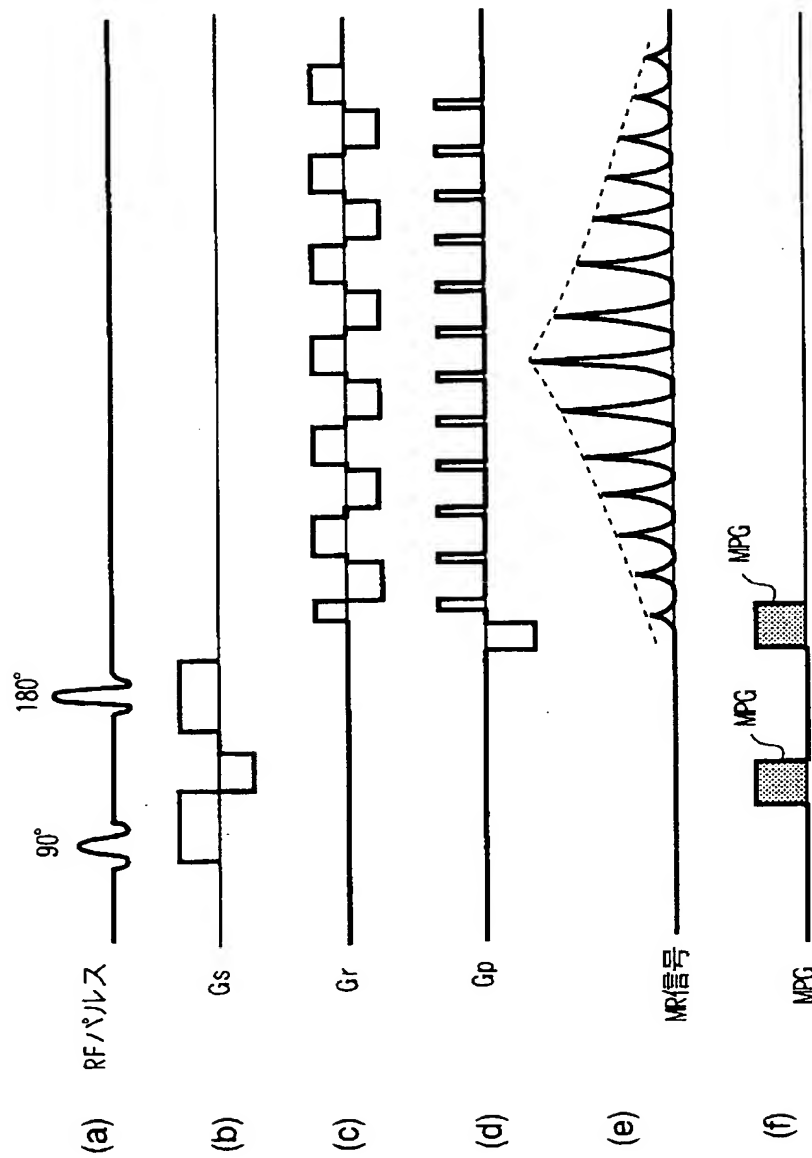
【図 8】



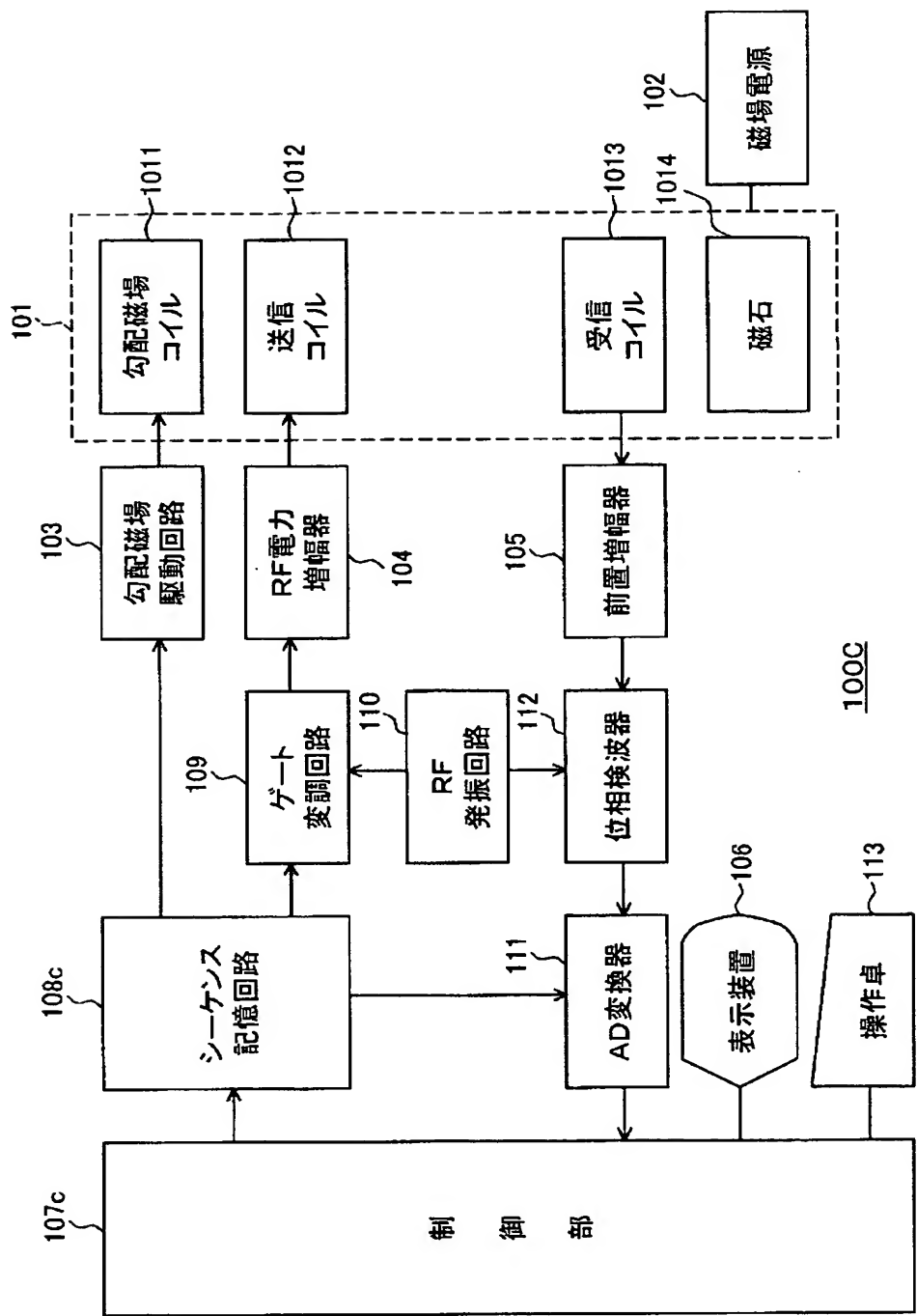
【図 9】



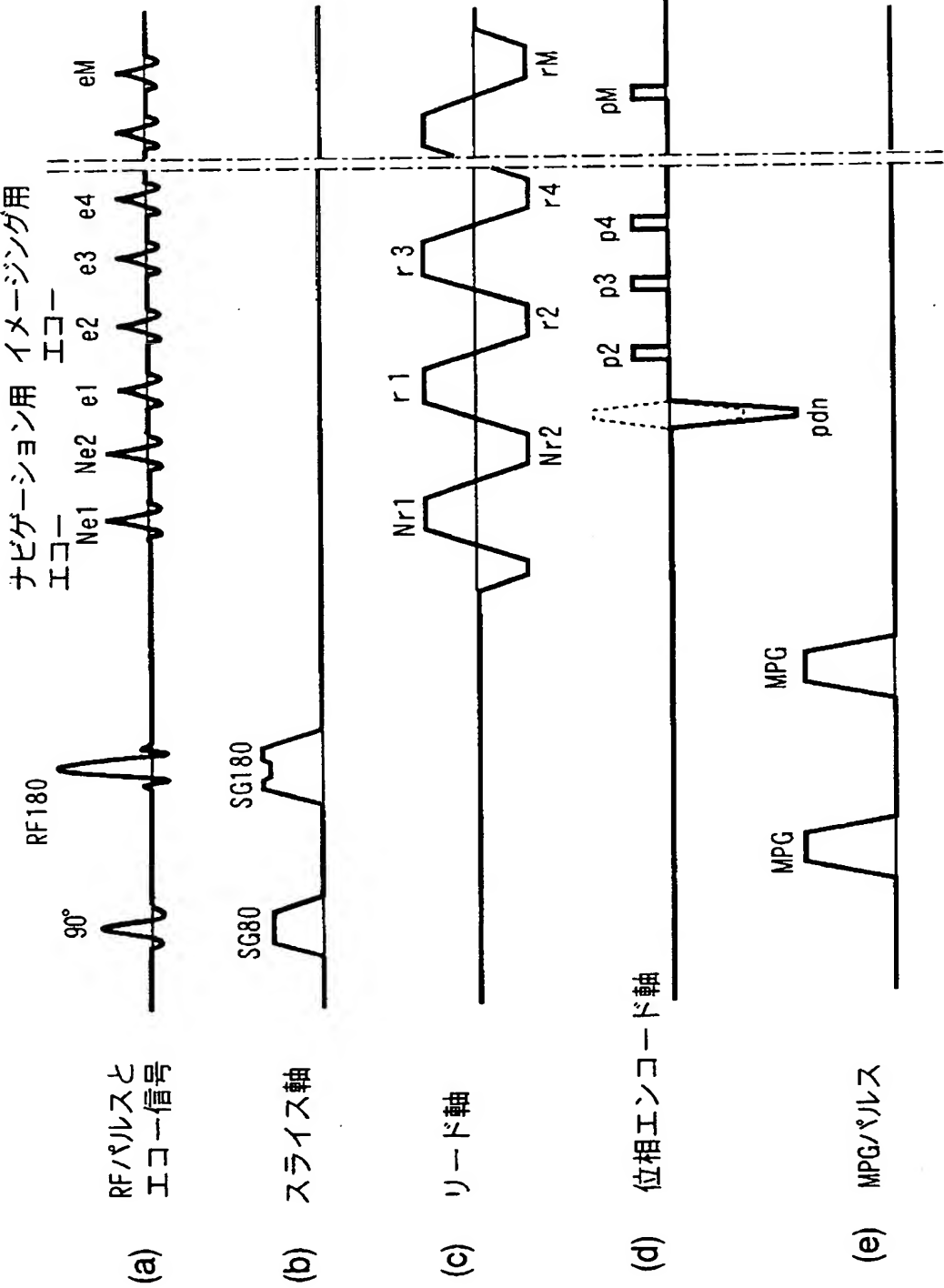
【図 10】



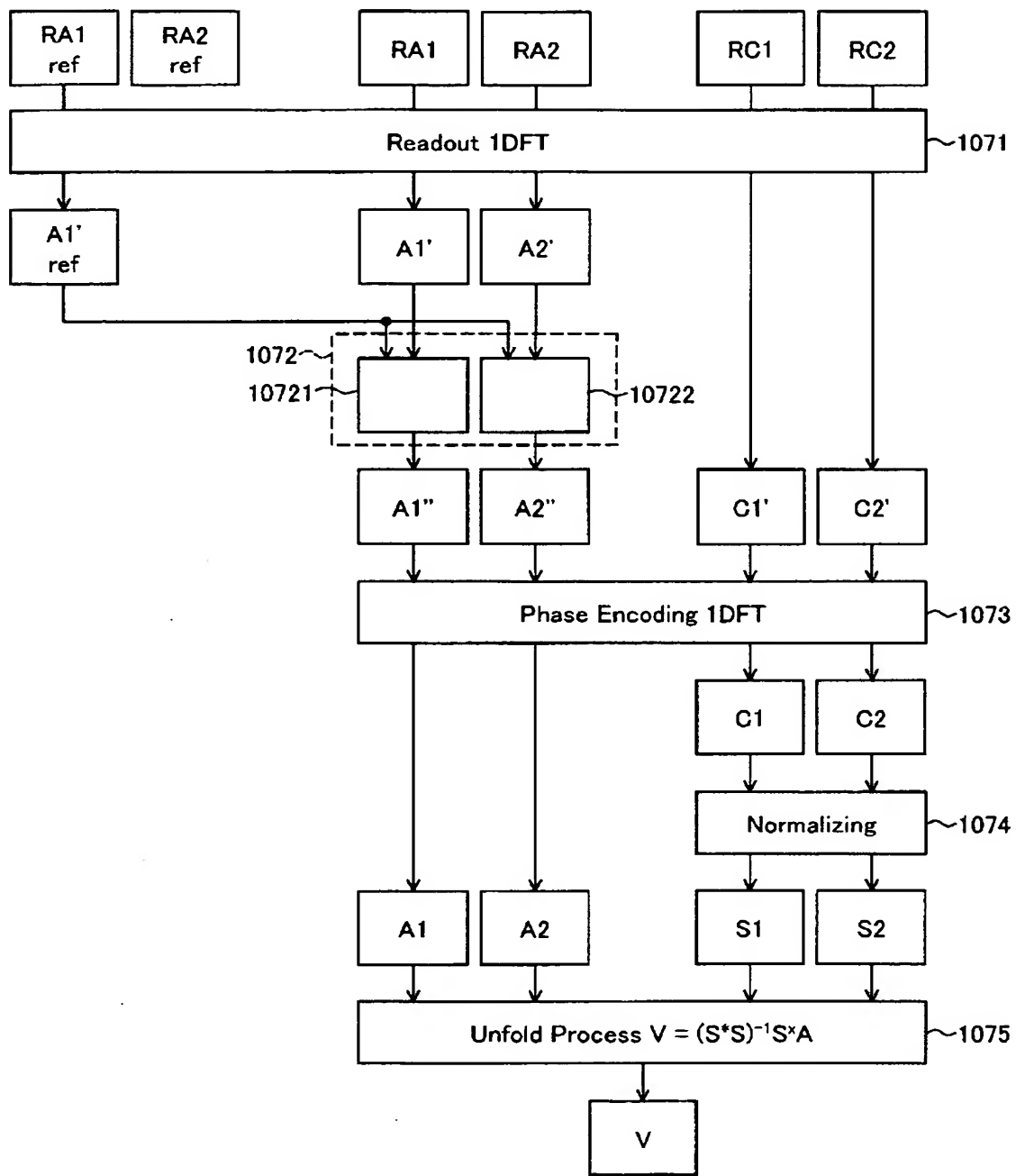
【図 11】



【図 12】



【図 13】



107C

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 画像の画質が低下することなく折り返し偽像を除去することができる核磁気共鳴画像装置、および核磁気共鳴方法を提供する。

【解決手段】 複数の受信コイル 1 0 1 3 の内の一コイル、例えば受信コイル 1 0 1 3 1 が、位相エンコード方向の勾配磁場を印加しない状態で受信した補正信号としての、リファレンス信号に基づいて、本スキンの受信信号の位相補正処理を行う位相補正部 1 0 7 2 と、位相補正部 1 0 7 2 が位相補正処理を行った本スキンの複数の受信コイル 1 0 1 3 の受信信号、および、キャリブレーションスキンのにより生成された複数の受信コイル 1 0 1 3 の感度分布差に基づいて、画像の内の折り返し偽像を除去する展開処理部 1 0 7 5 を設けたので、コイル間の相対位相関係を保ったまま、位相補正処理を行い、その位相補正処理の結果を用いて、展開処理（除去処理）を行う。

【選択図】 図 7

特願 2 0 0 3 - 0 6 6 5 5 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 0 0 0 1 9 2 3 8]

1. 変更年月日

2 0 0 0 年 3 月 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

アメリカ合衆国・ウィスコンシン州・5 3 1 8 8 ・ワウケシャ
・ノース・グランドヴュー・ブルバード・ダブリュー・7 1
0 ・3 0 0 0

氏 名

ジーイー・メディカル・システム・グローバル・テクノロジー
・カンパニー・エルエルシー

2. 変更年月日

2 0 0 0 年 3 月 1 5 日

[変更理由]

名称変更

住 所

アメリカ合衆国・ウィスコンシン州・5 3 1 8 8 ・ワウケシャ
・ノース・グランドヴュー・ブルバード・ダブリュー・7 1
0 ・3 0 0 0

氏 名

ジーイー・メディカル・システムズ・グローバル・テクノロジー
・カンパニー・エルエルシー